

УДК 620.17-18

**В. А. Хотинов\***

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

\*khotinov@yandex.ru

## СТРУКТУРНЫЕ АСПЕКТЫ ПЛАСТИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

В работе изучено влияние различных механизмов упрочнения на пластичность низко- и среднеуглеродистых конструкционных сталей в различном структурно-фазовом состоянии.

*Ключевые слова:* конструкционные стали, пластичность, механизмы упрочнения, феррит, гетерофазная структура.

**V. A. Khotinov**

## STRUCTURAL ASPECTS OF CONSRUCTIONAL STEELS PLASTISITY

The influence of strengthening mechanisms on the plasticity of low- and medium-carbon steels in different structural-phase condition is studied.

*Key words:* low- and medium-carbon steels, plasticity, strengthening mechanisms, ferrite, heterophase structure.

**В** последние несколько десятилетий эволюция технологий и производственного оборудования в разных отраслях промышленности привела к созданию новых функциональных материалов с гетерофазной структурой, имеющих уникальное сочетание физико-механических и эксплуатационных характеристик. В основе создания таких гетерофазных материалов лежит принцип композита, при котором уровень конструкционной прочности изделия проектируется заранее и реализуется в процессе его изготовления через подбор композиции материала, выбор режимов обработки и их жесткий контроль.

Принципы создания высокопрочных состояний научно обоснованы для широкого круга материалов, в том числе для конструкционных

сталей. Хорошо изучены механизмы упрочнения (дислокационный, дисперсионный, зернограницный и др.) и их вклад в повышение предела текучести и температуры вязко-хрупкого перехода низкоуглеродистых сталей типа 09Г2С. Совместный анализ структуры и механических свойств армко-железа и низко- и среднеуглеродистых сталей (09Г2С, 37Г2С и др.) в различных структурно-фазовых состояниях позволил оценить относительный вклад механизмов упрочнения в снижение ресурса пластичности металла ( $\Delta\sigma_t/\Delta\delta$  — отношение прироста предела текучести к падению относительного удлинения), а также выделить те из них, которые обеспечивают высокую прочность при сохранении достаточного уровня пластических характеристик.

На практике при рассмотрении влияния на ресурс пластичности нескольких факторов необходимо выделить доминирующий, на фоне которого рационально использовать для упрочнения действие других, более слабых факторов. Такая оценка особенно необходима для высокопрочных сталей, когда принципиальным становится вопрос о дозированном распределении ресурса пластичности феррита между различными механизмами упрочнения.

Проведенные нами исследования показали, что для низкоуглеродистых сталей, когда доля феррита в структуре составляет более 70 %, основной вклад в сохранение высокого запаса пластичности ферритной основы стали вносит измельчение зерен ( $d_\phi = 3\text{--}4$  мкм) и субзерен, а также дозированное количество карбидов и упрочняющих структурных составляющих. Такое структурно-фазовое состояние металла реализовано в сталях типа 05Г2Б класса прочности Х80, подвергнутых безрекристаллизационной контролируемой прокатке и последеформационному ускоренному охлаждению. Высокая чистота по неметаллическим включениям, мелкозернистая структура ферритной основы ( $d_\phi \sim 3\text{--}5$  мкм,  $q_\phi \sim 70\text{--}80\%$ ) с высокой протяженностью малоугловых границ, дозированное количество низкоуглеродистых продуктов сдвигового превращения (бейнита/мартенсита) участков привело к формированию в сталях Х80 высокого уровня прочностных и вязко-пластических свойств ( $\sigma_{0,2} = 600\text{--}700$  МПа,  $\sigma_B = 650\text{--}700$  МПа,  $\delta = 23\text{--}25\%$ ,  $KCV^{40} \geq 2,5$  МДж/м<sup>2</sup>).

В среднеуглеродистых сталях с феррито-перлитной структурой, в которой доля феррита не превышает 20–30 %, роль агрегатного перлитного упрочнения в формировании комплекса механических свойств стали возрастает, однако повышение доли перлита существенно сни-

жает резерв вязкости и пластичности. С этих позиций оптимальным структурно-фазовым состоянием для таких сталей является феррито-карбидная смесь, полученная при термоулучшении, когда высокая конструктивная прочность металла достигается при высоком отпуске за счет субзеренной структуры ферритной основы и равномерно распределенных в ней частиц вторых фаз.

Предложены новые методы оценки вязко-пластических свойств конструкционных сталей по результатам инструментированных испытаний на растяжение и ударный изгиб.